Aus dem Physiologischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. K. Brecht
Abteilung für Angewandte Physiologie

Die Sauerstoffaffinität, die Sauerstoffkapazität und der Standardbikarbonatgehalt im Blute des Kaninchens bei Höhenanpassung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
SIEGFRIED KUNZ
aus Eßlingen

1968

9477

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Tübingen

Direktor: Professor Dr. K. Brecht

Abteilung für Angewandte Physiologie

Die Sauerstoffaffinität, die Sauerstoffkapazität und der Standardbikarbonatgehalt im Blute des Kaninchens bei Höhenanpassung.

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

SIEGFRIED KUNZ
aus Eßlingen

1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. med. W. Graumann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. Bartels

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. K. Brecht

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Einleitung	1
Allgemeine Methodik und Versuchsverlauf	2
Ergebnisse	4
Diskussion	8
Zusammenfassung	10
Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse, Abbildungen	11
Literaturverzeichnis	25

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547604_0090

Einleitung:

Die Zunahme der Erythrozytenkonzentration im Blut infolge des verminderten Sauerstoffpartialdruckes in der Einatmungsluft ist seit fast einem Jahrhundert bekannt (Viault 189o) und bei vielen Species nachgewiesen. Demgegenüber ist die Frage einer Sauerstoffaffinitätsänderung nur am Menschen eingehend untersucht worden. Die ursprüngliche Vermutung Barcrofts (Barcroft, Binger, Bock, Doggart, Forbes, Warrop, Meakins und Redfield 1922), daß sich die Affinität des Blutes für O_2, ähnlich wie im fetalen Blut, während der Höhenanpassung erhöhe, ließ sich nicht bestätigen (Keys, Hall und Barron 1936); es wurde im Gegenteile eine Abnahme der Sauerstoffaffinität bei Höhenanpassung (Keys et al. 1936) bzw. bei Eingeborenen in großen Höhen (Aste-Salazar und Hurtado 1944; Hurtado 1964) eine verminderte O_2-Affinität gegenüber derjenigen von Bewohnern auf Meereshöhe gefunden. Diese Verminderung der O_2-Affinität bewirkt, daß bei einem bestimmten O_2-Partialdruck im Gewebe mehr Sauerstoff aus dem Blut entnommen werden kann und damit die O_2-Versorgung der Gewebe verbessert wird.

Untersuchungen an Schafen und Kaninchen (Hall, Dill und Barron 1936) sind methodisch und vor allem zahlenmäßig nicht ausreichend, um das Verhalten dieser Species im Hinblick auf die Veränderung der Sauerstoffaffinität zu klären. Es wurde deshalb die Sauerstoffaffinität bei Kaninchen während Höhenanpassung bis auf 6ooo m in einer Unterdruckkammer mit einer gegenüber der Arbeit von Hall et al. 1936 teilweise verbesserten Methodik und an einer größeren Zahl von Tieren untersucht.

Allgemeine Methodik und Versuchsverlauf:

Während einer Zeitdauer von insgesamt 16o Tagen wurden 16 gesunde, ausgewachsene Kaninchen (Durchschnittsgewicht 3,1 kg) in einer Kammer mit einem Rauminhalt von ca. 1,3 m^3 verschiedenen Unterdruckstufen ausgesetzt: 6o Tage einer Druckstufe von vergleichsweise 4ooo m Höhe (13ooo ft. = 461 Torr) und weitere 8o Tage einer solchen von 6ooo m Höhe (2oooo ft. = 354 Torr). Zwischen diesen beiden Höhenstufen blieben die Tiere zur Erleichterung der Anpassung noch ca. 15 Tage auf 5ooo m (17ooo ft. = 397 Torr). Zur Fütterung und während der Untersuchungstage zur Blutabnahme wurden die Kaninchen täglich 2 - 4 Stunden auf Normalhöhe gebracht (Tübingen 33o m = 73o Torr). Da die Unterdruckkammer im Freien stand, war es nicht möglich, jahreszeitlich bedingte Temperaturschwankungen voll auszugleichen: während der Sommermonate stieg die Kammertemperatur bisweilen auf $+3o^{o}$ C, im Winter fiel sie zeitweise bis auf -3^{o} C. Druckschwankungen von $\pm$ 2o Torr, entsprechend 2oo m, konnten ebenfalls nicht vermieden werden, da ein automatischer Unterdruckregler nicht zur Verfügung stand. Einige Tiere, die gebissen worden waren, kamen für 1 - 2 Tage aus dem Versuch.

Verhalten der Tiere: Trotz sorgfältiger Pflege starben im Versuchsverlauf 1o Tiere, und zwar 4 während der 6o Tage-Periode auf 4ooo m und weitere 6 auf 6ooo m. Die Obduktion ergab in den meisten Fällen eitrige Pneumonien und Hämorrhagien der Lunge. Die übrigen Tiere ließen keine Beeinträchtigung ihres Gesundheitszustandes erkennen.

Das Durchschnittsgewicht der überlebenden Tiere stieg von 3,3 kg als Ausgangswert über 3,6 kg bei 4ooo m, auf 3,7 kg bei 6ooo m um rd. 1o%.

Im ganzen wurden 5 Untersuchungen durchgeführt:

Serie I: Normalwerte mit 16 Tieren
Serie II: nach 3o Tagen auf 4ooo m, 14 Tiere
SerieIII: nach 6o Tagen auf derselben Höhenstufe, 1o Tiere
Serie IV: nach 45 Tagen auf 6ooo m, 6 Tiere
Serie V: nach 8o Tagen auf 6ooo m, je 6 Tiere

Die statistische Untersuchung auf Signifikanz der Differenzen erfolgte nach dem T-Test. Es wurden die hierzu in der Serie V noch lebenden Tiere verwendet und außerdem auf jeder Höhenstufe die Meßwerte der noch lebenden Tiere mit den entsprechenden Werten aus der vorhergegangenen Serie verglichen. Die Werte für die mittlere Hämoglobinkonzentration der Einzelerythrozyten und den Hämatokritwert, die neben anderen erythrozytenmorphologischen Werten mit Hilfe der Daten von Reinhard (1966) errechnet wurden, konnten aus technischen Gründen für die Serie V nicht mehr ermittelt werden.

Analysen und Messungen

Blutentnahme: Sie erfolgte bei allen Tieren ohne Narkose aus einer oberflächlichen Ohrvene. Im Mittel wurden etwa 2o ml entnommen, was etwa 7% des Gesamtvolumens entsprach. Zur Gerinnungsverhütung wurde pulverisiertes Heparin (Na-frei)+ zugegeben. Bis zur Untersuchung innerhalb höchstens 6 Stunden wurde das Blut im verschlossenen Gefäß bei +5° C aufbewahrt.

Der Analysengang erfolgte im wesentlichen nach den Vorschriften von Bartels und Harms (1959).

Äquilibrierung: Die Blutproben wurden in Kugeltonometern nach Laué (1951) mit O_2-Drucken zwischen 15 und 25o Torr 2o min. äquilibriert. Ein Tonometer wurde höchstens für zwei aufeinander folgende Analysen mit ähnlichen O_2-Drucken benutzt. Die Temperatur im Wasserbad betrug 39,o° ± o,15° C.

Analysen: Mit einer o,5 ml bzw. 1 ml Ostwaldpipette wurde das Blut aus dem Tonometer entnommen und im manometrischen Apparat nach den Vorschriften von Peters und van Slyke (1932) analysiert.

Berechnungen:

a) Der O_2- und CO_2-Druck des Äquilibriergases wurde aus dem prozentualen Anteil des Gases berechnet (Analyse im o,5 ml Scholander-Gasanalyseapparat). Dabei wurden vom herrschenden Barometerstand für 39° C 52,4 Torr Wasserdampfspannung abgezogen.

+ Der Deutschen Hoffmann - La Roche AG., Grenzach, sind wir für die kostenlose Überlassung dankbar.

b) O_2-Kapazität: Berechnet aus dem O_2-Gehalt des Blutes nach Äquilibrierung mit durchschnittlich 2oo Torr P_{O_2}. Zur Bestimmung der an Hämoglobin gebundenen O_2-Menge wurde der physikalisch gelöste O_2-Anteil abgezogen. Dazu wurde für 39° C der Löslichkeitskoeffizient o,o228 benutzt (Bartels, Bücherl, Hertz, Rodewald und Schwab, 1959).

c) Prozentuale O_2-Sättigung der Proben: Von dem gemessenen O_2-Gehalt wurde der physikalisch gelöste O_2-Anteil entsprechend dem O_2-Druck des Äquilibriergases abgezogen und die an Hämoglobin gebundene O_2-Menge als prozentualer Anteil der Kapazität ausgedrückt.

d) pH-Wert der Proben: Hierzu wurde in allen Fällen nach dem gasometrischen Verfahren (Bartels und Harms, 1959) der pH-Wert des Serums bestimmt:

1. Umrechnung des CO_2-Gehaltes des Vollblutes auf den des zugehörigen Serums mit dem Nomogramm von van Slyke, Sendroy und Liu (1928) unter Berücksichtigung der O_2-Sättigung.

2. Berechnung des physikalisch gelösten Anteils des CO_2-Gehaltes aus dem Druck des Äquilibriergases mit dem Löslichkeitskoeffizienten für 39° C o,492 (Bartels und Wrbitzky, 196o).

3. Ermittlung des pH-Wertes für Serum aus den genannten Werten mit der Gleichung nach Henderson - Hasselbalch und einem pK'-Wert von 6,1.

e) Zur Umrechnung der O_2-Äquilibrierdrucke auf pH 7,4 wurde der von Dill, Graybiel, Hurtado und Taquini (194o) angegebene Faktor $\Delta \log P_{O_2} = -$ o,48 pH benutzt, da der von Hilpert, Fleischmann, Kempe und Bartels (1963) für Kaninchen gefundene Wert von - o,45 sich nicht signifikant von demjenigen für den Menschen unterscheidet.

f) Der Standardbikarbonatgehalt des Serums wurde folgendermaßen ermittelt: Eingehen in das Nomogramm von Henderson (1932) mit dem CO_2-Druck des Äquilibriergases bei Bestimmung der O_2-Kapazität als Drehpunkt. Es kann dann mit Hilfe der O_2-Kapazität der CO_2-Gehalt bei 4o Torr CO_2 abgelesen werden. Umrech-

nung dieses Wertes auf den CO_2-Gehalt im Serum mit Hilfe des Nomogramms nach van Slyke, Sendroy und Liu (1928). Nach Abzug des physikalisch gelösten Anteils wurde der so erhaltene Wert durch 2,226 dividiert (Avogadro'sche Zahl für CO_2). Es ergibt sich dann der Standardbikarbonatgehalt im Plasma.

g) Die Bestimmung des Hämatokritwertes wurde im direkten Sedimentierverfahren mit einer Hawksley-Mikrohämatokritzentrifuge (12000 g) über 10 min. fünffach ausgeführt. Die Bestimmung des aktiven Hb-Gehaltes erfolgte aus der gemessenen O_2-Kapazität mit der Hüfner'schen Zahl (1 g Hb bindet 1,34 ml O_2). Die mittlere Hämoglobinkonzentration im Einzelerythrozyten (MCHC in %) wurde aus der Hämoglobinkonzentration im Blut und dem Hämatokritwert berechnet.

$$MCHC\ \% = \frac{\text{Hämoglobin (g)} \times 100}{\text{Hkt}}$$

Konstruktion der Dissoziationskurven (DK): Aus den Wertepaaren von O_2-Sättigung und auf pH 7,4 korrigiertem O_2-Druck wurden jeweils in einem Bereich von 5 - 7 Torr P_{O_2} die Mittelwerte einer Gruppe von Einzelpunkten für Abszisse und Ordinate berechnet und aus diesen Punkten die Kurve gezeichnet.

Ermittlung des O_2-Druckes bei Halbsättigung: Nach dem Verfahren von Bartels und Harms (1959) wurden die Wertepaare für pH 7,4 in ein Koordinatensystem mit der Ordinate $\log 100 \times \frac{100 - SO_2}{SO_2}$ und der Abszisse $\log P_{O_2}$ eingetragen. Durch diese Darstellung verläuft die Sauerstoffdissoziationskurve in einem Bereich von 20 - 80 Torr P_{O_2} nahezu als Gerade. Geht man nun mit einem gefundenen Wertepaar in dieses Koordinatensystem ein, so erhält man durch Parallelverschiebung zu der Geraden der Standardkurve einen Schnittpunkt mit dem Halbsättigungswert und einem dazugehörigen Sauerstoffdruckwert, der unmittelbar abgelesen werden kann.

Ergebnisse:

In den Tabellen 1 - 5 sind die wichtigsten gemessenen und berechneten Werte zur Aufstellung der Sauerstoffdissoziationskurven bei 39° C (Abb. 1 u. 2) der Kaninchen im Verlauf der Höhenanpassung entsprechend der Serien 1 bis 5 aufgeführt.

In den Tabellen 6 - 1o sind wiederum entsprechend den verschiedenen Höhenstufen die gemessenen und errechneten Zahlenwerte für folgende Größen wiedergegeben: Die O_2-Kapazität, der Hämoglobingehalt des Blutes, der Hämatokritwert, die mittlere Hämoglobinkonzentration der Einzelerythrozyten, die O_2-Affinität, ausgedrückt als O_2-Halbsättigungsdruck, sowie der Standardbikarbonatgehalt des Plasmas. Neben den Einzelmeßwerten sind die mittleren Fehler der Einzelwerte und die mittleren Fehler der Mittelwerte aufgeführt.

Abb. 3 zeigt die Mittelwertskurven der O_2-Kapazität, des Halbsättigungsdruckes und des Standardbikarbonatgehaltes im Verlauf der Höhenanpassung.

In Abb. 4 sind die mit angenommenen Bereichen für den arteriellen Sauerstoffdruck die Mittelwertsdissoziationskurven der SerienI-V auf 35o 4ooo und 6ooo m eingetragen.

1) Die Sauerstoffkapazität

Die O_2-Kapazität von 16 untersuchten Tieren betrug auf Normalhöhe 16,8 ml O_2/1oo ml Blut. Nach 3o Tagen Aufenthalt auf 4ooo m Höhe hatte dieser Wert um 2o% statistisch signifikant auf 2o ml O_2/1oo ml Blut zugenommen. Ein weiterer 3o-tägiger Aufenthalt auf dieser Höhenstufe ergab mit 2o,5 ml O_2/1oo ml Blut keinen signifikanten Anstieg der O_2-Kapazität. Bei den in der Serie IV noch lebenden 6 Tieren hatte die O_2-Kapazität nach 45 Tagen auf 6ooo m gegenüber dem Wert auf 4ooo m um beinahe 5o% auf 29,2 ml O_2/1oo ml Blut zugenommen. Diese Zunahme ist gegenüber den vorhergehenden Serien hoch signifikant. Nach weiteren 3o Tagen auf 6ooo m betrug die O_2-Kapazität 3o,1 ml O_2/1oo ml Blut (Mittelwert von 5 Tieren) und hat sich demnach praktisch nicht mehr geändert.

2) Die Sauerstoffaffinität, gemessen am Halbsättigungs-O_2-Druck (T_{50})

T 5o von 16 Tieren auf Normalhöhe beträgt 35,6 Torr (Tiere 1-6: 34,9 Torr). Nach Anpassung auf 4ooo m hat dieser Wert in beiden Untersuchungsserien auf dieser Höhenstufe auf 34,3 Torr abgenommen. Nach 45 Tagen auf 6ooo m Höhe steigt der T 5o der restlichen Tiere auf 35,o Torr, und, wie bei der vorhergehenden Stufe, scheint auch das schon der endgültige Wert zu sein, denn die letzte Untersuchung zeigte einen Wert von 35,2 Torr. Eine statistische Signifikanz ergab sich lediglich bei Serie II gegenüber Serie I für die Zunahme

er O_2-Affinität nach 3o Tagen auf 4ooo m für 14 Tiere.

Der Standardbikarbonatgehalt im Plasma

i der Beurteilung der für diesen Wert im Verlauf der Höhenanpassung fundenen Veränderungen muß berücksichtigt werden, daß die Tiere der ersten Serie bei der Blutentnahme eine starke motorische Aktivität zeigten, so daß die in der Serie I gefundenen Standardbikarbonatwerte wahrscheinlich niedriger als normal bestimmt wurden (Mittelwert der 6 überlebenden Tiere 21,2 m Mol/1 Plasma).

n den beiden folgenden Serien bleibt dieser Wert nahezu unverändert (Serie II 21,2 und Serie III 21,8 m Mol/1 Plasma) und fällt erst in en 6ooo m Serien ab: Serie IV 17,7 und Serie V 18,o. Die Abnahme des ertes von der Serie III nach der Serie IV ist statistisch zu sichern.

iese Abnahme des Standardbikarbonatgehaltes im Plasma beruht auf er wohlbekannten kompensatorischen Mehrausscheidung von Bikarbonationen als Antwort auf die durch Hyperventilation hervorgerufene espiratorische Alkalose (Hurtado, Velasquez, Reynafarje und Astealazar, 1956).

) Der Hämatokritwert (HKT)

er Hämatokritwert stieg bei Anpassung auf 4ooo m statistisch signifikant an. In der Serie I betrug der Mittelwert 36,6 %, in den Serien II und III 47 % und 48 %. Beim Übergang auf 6ooo m erfolgte eine ochmalige starke Zunahme des HKT-Wertes auf 71,4% (Mittelwert von Tieren Serie IV). Dieser Wert ist gegenüber den Werten der vorhergehenden Serien statistisch signifikant erhöht.

5) Der Hämoglobingehalt (Hb)

er Hämoglobingehalt nahm entsprechend den verschiedenen Höhenstufen benfalls statistisch signifikant zu: Serie I 12,6 g %, Serie II und III 14,9 und 15,3 g %. Bei Anpassung auf 6ooo m erfolgte ein nochmaliger Anstieg des Hb-Gehaltes auf 21,8 g %, der statistisch gegenüber den vorhergehenden Serien zu sichern war.

6) Die mittlere Hämoglobinkonzentration des Einzelerythrozyten (MCHC)

MCHC nahm gegenüber dem Ausgangswert von 34,3 % bei Anpassung auf 4ooo m statistisch hochsignifikant ab. Die Werte betragen 32,1 % in der Serie II und 31,8 % in der Serie III. Der nochmalige Abfall in der Serie IV nach 45 Tagen auf 6ooo m (29,8%) konnte gegenüber allen vorhergehenden Serien statistisch gesichert werden.

Diskussion

1. Die Sauerstoffkapazität nahm wie erwartet zu: Nach 45 Tagen auf der Endhöhenstufe von 6ooo m betrug die O_2-Kapazität 29 ml O_2/1oo ml Blut. Da nach weiteren 35 Tagen Aufenthalt auf 6ooo m die O_2-Kapazität nur noch um ca. 1 ml O_2/1oo ml Blut auf 3o,1 ml O_2/1oo ml Blut zugenommen hatte, darf angenommen werden, daß die volle Akklimatisation im Hinblick auf den Hämoglobingehalt des Blutes praktisch erreicht war. Die Gesamtzunahme der O_2-Kapazität betrug gegenüber dem Ausgangswert 86%.

   Wie Luft (1941) für den Menschen bei Höhenanpassung zeigen konnte, wird auch beim Kaninchen durch die Kapazitätserhöhung erreicht, daß der arterielle O_2-Gehalt trotz des erniedrigten alveolaren Sauerstoffdruckes praktisch so groß bleibt wie auf Meereshöhe (Abb. 4).

2. Der Hämatokritwert stieg von Serie I nach Serie IV um ca. 1oo% an. Da die Hämoglobinzunahme jedoch gleichzeitig nur 81% betrug, hat die mittlere Hämoglobinkonzentration im Einzelerythrozyten (MCHC) abgenommen. Die gefundenen Werte betragen 34,3% in der Serie I und 29,8% in der Serie IV. Auch aus den von Criscuolo, Clark und Mefferd (1955) angegebenen Werte für höhenadaptierte Ratten (6ooo m) läßt sich eine Abnahme von MCHC errechnen. Die Autoren fanden eine noch deutlichere Abnahme von MCHC bei denjenigen Tieren, die zusätzlich in einem Eisenmangelzustand gehalten wurden. Hurtado, Metino und Delgado (1945) sowie Chiodi (1956) dagegen konnten beim Menschen auf verschiedenen Stufen der Höhenanpassung keine Veränderung von MCHC feststellen. Neben einem relativen Eisenmangel käme für die Erklärung unseres Befundes auch die prozentuale Zunahme von Reticulozyten und jungen roten Blutzellen (Hurtado et al. 1945) in Betracht. Diese Erythrozytenformen haben gegenüber reifen Zellen ebenfalls

eine verminderte Hämoglobinkonzentration (Chalfin 1956, Kleihauer und Steenblock 1967).

3. Die Sauerstoffaffinität wurde bei Höhenanpassung an Kaninchen u.W. nur zweimal untersucht. Die Ergebnisse an einem Kaninchen (Hall et al. 1936) auf 5300 m zeigten eine Abnahme des Halbsättigungsdruckes auf 37 Torr, während der Mittelwert von 4 Vergleichstieren auf Meereshöhe 31 Torr betrug (bezogen auf einen Erythrozyten pH-Wert von 7,10). Die Autoren betrachten ihre Ergebnisse jedoch als möglicherweise inkorrekt. Die von Wang, Wirz und Vérzar (1951) berichtete Rechtsverschiebung der O_2-Dissoziationskurve von Kaninchen bei Anpassung auf 1800 m ist nicht auf Iso-pH-Werte bezogen und deshalb nicht zum Vergleich heranzuziehen. Unsere Befunde ergeben eine nur ganz geringfügige und nicht sicherbare Affinitätsabnahme bei Anpassung auf 6000 m. Nach unseren Untersuchungen besteht die Anpassung des Sauerstofftransportes, soweit es die O_2-Kapazität und O_2-Affinität betrifft, beim Kaninchen nur in einer Erhöhung der O_2-Kapazität. Die Höhenanpassung beim Menschen scheint beide Mechanismen zu beanspruchen, denn sowohl die Eingeborenen in den Anden (Hurtado 1964) als die vollakklimatisierten Tieflandbewohner (Keys et al. 1936) zeigen die Affinitätsabnahme und eine Kapazitätszunahme. Bei den Kaninchen ist die Kapazitätserhöhung prozentual und absolut größer als beim Menschen, und so könnte das Gleichbleiben der Affinität verständlich sein. Eine Anpassung nur über eine Kapazitätserhöhung wird infolge der höheren Blutviskosität eine größere Belastung des Herzens darstellen als eine Anpassung mit geringerer Kapazitätszunahme, kombiniert mit einer Affinitätsabnahme. Die Frage, ob bei verschiedenen Species der eine oder andere Anpassungsmechanismus mehr im Vordergrund steht, konnte quantitativ bisher noch nicht geklärt werden.

Zusammenfassung:

1. 16 Kaninchen wurden in zwei Stufen auf 4000 bzw. 6000 m in einer Unterdruckkammer höhenangepaßt. Die O_2-Kapazität, der Hb-Gehalt, der Hämatokritwert, die O_2-Affinität (O_2-Bindungskurve) und der Standardbikarbonatgehalt wurden bestimmt.

2. Die O_2-Kapazität und der Hb-Gehalt stiegen bei 6ooo m im Mittel um 8o%, der Hämatokritwert im Mittel um 1oo% gegenüber den Ausgangswerten signifikant an. Die mittlere Hämoglobinkonzentration in den Erythrozyten sank signifikant von 34,3% auf 29,8%. Der Sauerstoffhalbsättigungsdruck des Blutes (als Ausdruck der O_2-Affinität) stieg nicht signifikant an (von 34,8 auf 35,2 Torr). Der Standardbikarbonatgehalt des Plasmas sank,wie zu erwarten war, ab.

3. Die Sauerstoffaffinität wurde bei Höhenanpassung zuverlässig bisher nur beim Menschen bestimmt. Die für den Menschen gefundene Abnahme ließ sich für das Kaninchen nicht zeigen. Im Blut ist demnach bei Kaninchen nur die Hb-Zunahme als Anpassungsfaktor von Bedeutung, während beim Menschen Hb-Zunahme und O_2-Affinitätsabnahme des Hämoglobins der Höhenadaptation dienen.

Legenden zu den Abbildungen.

Abbildung 1: Mittelwerts-Sauerstoff-Dissoziationskurve bei pH 7,4 und 39°C der Kaninchen 1 - 16: Untersuchungsserie I mit Einzelmeßpunkten (———) und Mittelwertskurve der Untersuchungsserie II und III (-----) der Kaninchen 1 - 10.

Abbildung 2: Mittelwerts-Sauerstoff-Dissoziationskurve bei pH 7,4 und 39°C der Kaninchen 1 - 10: Untersuchungsserie II und III mit Einzelmeßpunkten (———) und Mittelwertskurve der Untersuchungsserie IV und V (-----) der Kaninchen 1 - 6.

Abbildung 3: Verlauf der Mittelwerte des Standardbikarbonatgehaltes im Plasma, der Sauerstoffkapazität und des O_2-Halbsättigungsdruckes (T_{50}) der Kaninchen 1 - 6 im Verlauf der Höhenanpassung. Die mittleren Fehler der Mittelwerte sind durch senkrecht verlaufende Linien gekennzeichnet.

Abbildung 4: Sauerstoffbindungskurve von Kaninchen auf 350 m Höhe und nach Anpassung auf 4000 bzw. 6000 m Höhe. Durch die Darstellung der Ordinate in ml O_2/100 ml Blut kann gezeigt werden, daß durch die Kapazitätszunahme der arterielle O_2-Gehalt des Blutes trotz Erniedrigung des arteriellen O_2-Druckes in etwa konstant gehalten wird.

Legenden zu den Tabellen

Tabelle 1: Analysierte und berechnete Daten des Blutes der Kaninchen Nr. 1 - 16 auf Meereshöhe.

P_{O_2} und P_{CO_2}: Äquilibriergasdrucke in Torr für O_2 und C_{O_2} im Kugeltonometer. C_{O_2} und C_{CO_2}: Gehalt des Blutes an chemisch gebundenem und physikalisch gelöstem O_2 bzw. C_{O_2} in ml/100 ml Blut. S_{O_2}: Prozentuale O_2-Sättigung des äquilibrierten Blutes. $C_{CO_2}S$: Berechneter C_{O_2}-Gehalt im Serum des äquilibrierten Blutes. pH gas: Gasometrisch berechneter pH-Wert des Serums. P_{O_2} bei pH 7.4: Auf einen Serum-pH-Wert von 7.4 bei der gefundenen O_2-Sättigung umgerechneten O_2-Druck des Blutes.

Tabelle 2: Analysierte und berechnete Daten des Blutes der Kaninchen Nr. 1 - 14 nach 30 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 4000 m.

Weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 1.

Tabelle 3: Analysierte und berechnete Daten des Blutes der Kaninchen Nr. 1 - 10 nach 60 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 4000 m.
Weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 1.

Tabelle 4: Analysierte und berechnete Daten des Blutes der Kaninchen Nr. 1 - 6 nach 45 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 6000 m.

Weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 1.

Tabelle 5: Analysierte und berechnete Daten des Blutes der Kaninchen Nr. 1 - 6 nach 80 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 6000 m.

Weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 1.

Tabelle 6: Auf Meereshöhe ermittelte Einzelwerte, Mittelwerte ($\bar{X}$), mittlerer Fehler der Einzelmessung (sx_i) und mittlerer Fehler des Mittelwertes ($s\bar{x}$) für folgende Größen: O_2-Kapazität, Hämoglobin (Hb g %), Hämatokrit (Hkt %). Mittlere Hämoglobinkonzentration des Einzelerythrozyten (MCHC %), Sauerstoffaffinität des Hämoglobins, gemessen am Halbsättigungsdruck (T_{50}), Standardbikarbonat des Plasmas.

Die Gruppierung der Resultate ergab sich aus der unterschiedlichen Lebensdauer einzelner Tiere beim Versuch (s. Legenden zu den Tabellen 1 - 5). Dadurch wird es möglich, die Ergebnisse gleicher Kollektive auf verschiedenen Höhenstufen zu vergleichen.

Tabelle 7: Nach 30 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 4000 m ermittelte Werte, weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 6.

Die Gruppierung der Resultate wie in Tabelle 6 (s. Legende zu Tabelle 6).

Tabelle 8: Nach 60 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 4000 m ermittelte Werte, weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 6.

Die Gruppierung der Resultate wie in Tabelle 6 (s. Legende zu Tabelle 6).

Tabelle 9: Nach 45 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 6000 m ermittelte Werte, weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 6.

Die Gruppierung der Resultate wie in Tabelle 6 (s. Legende zu Tabelle 6).

Tabelle 1o: Nach 80 Tagen Aufenthalt in der Unterdruckkammer auf einer Nennhöhe von 6000 m ermittelte Werte, weitere Erklärung s. Legende zu Tabelle 6.

Die Gruppierung der Resultate wie in Tabelle 6 (s. Legende zu Tabelle 6).

Abb. 1

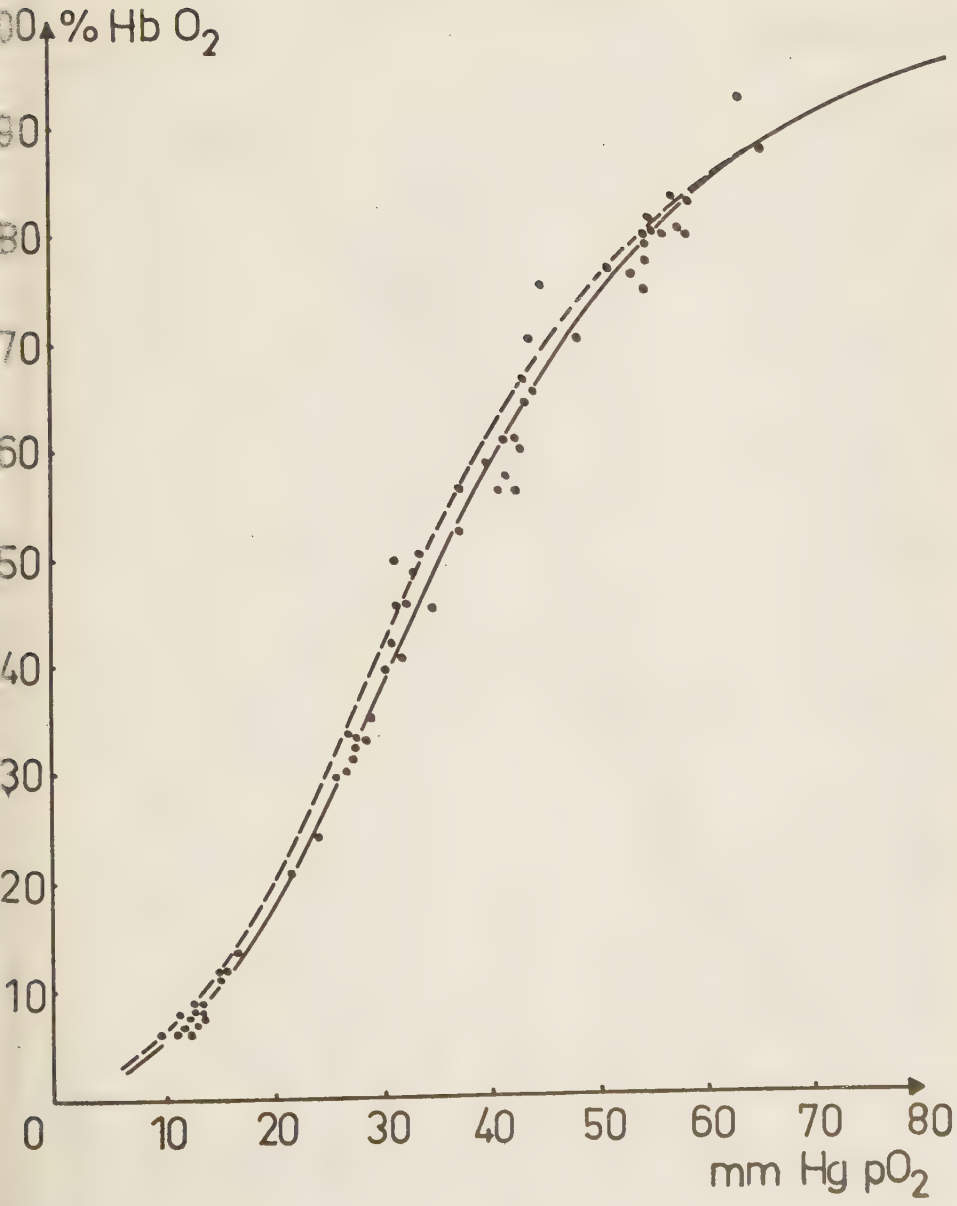
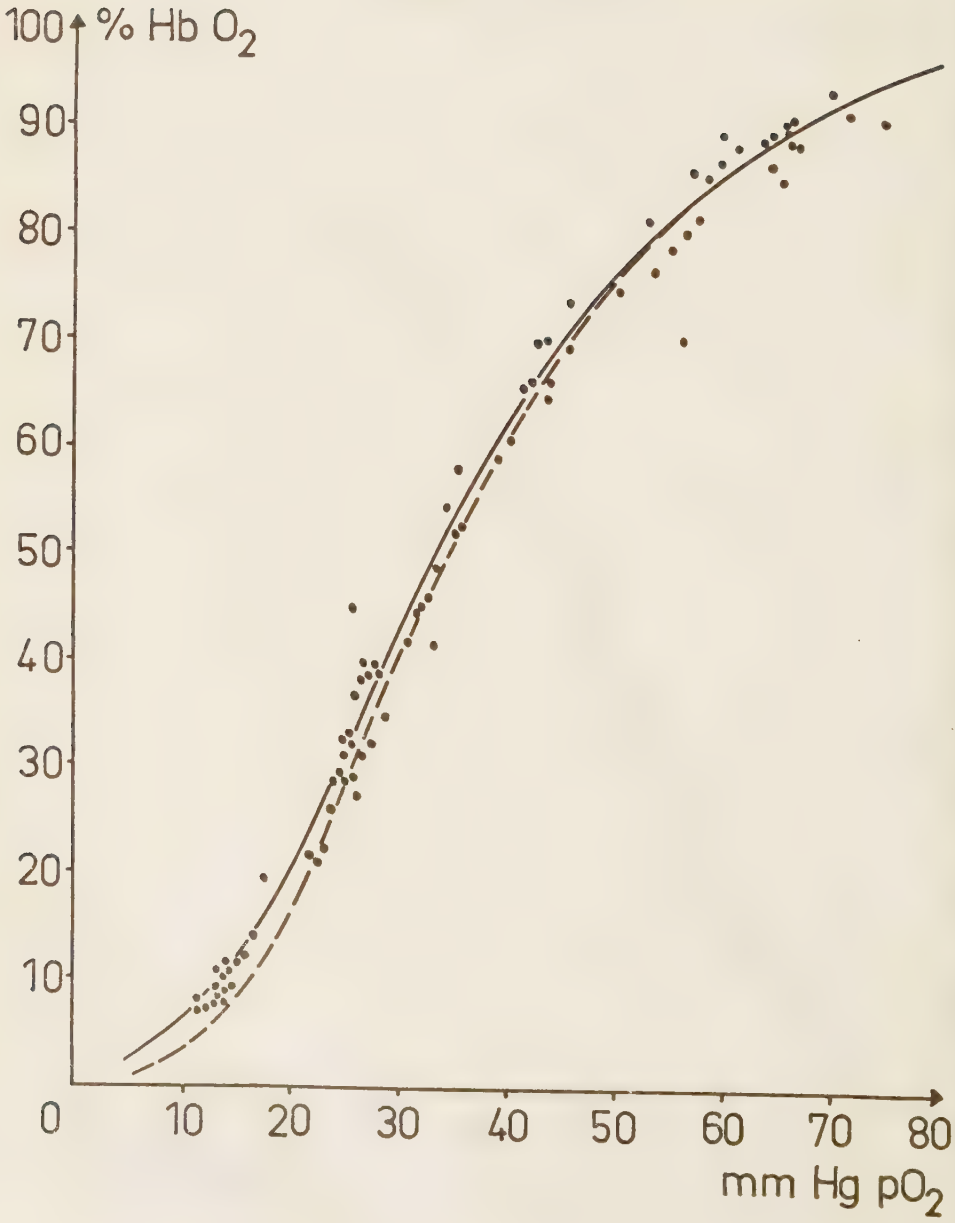


Abb. 2



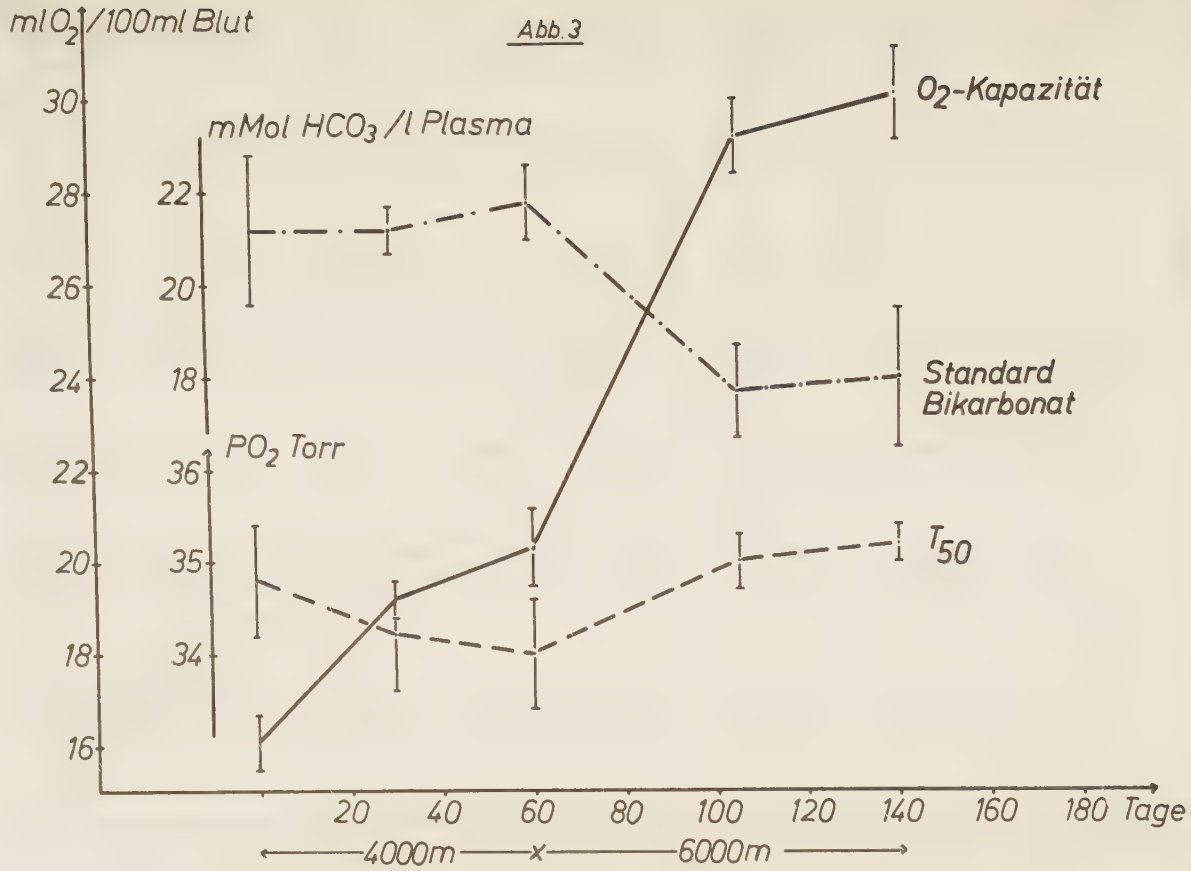
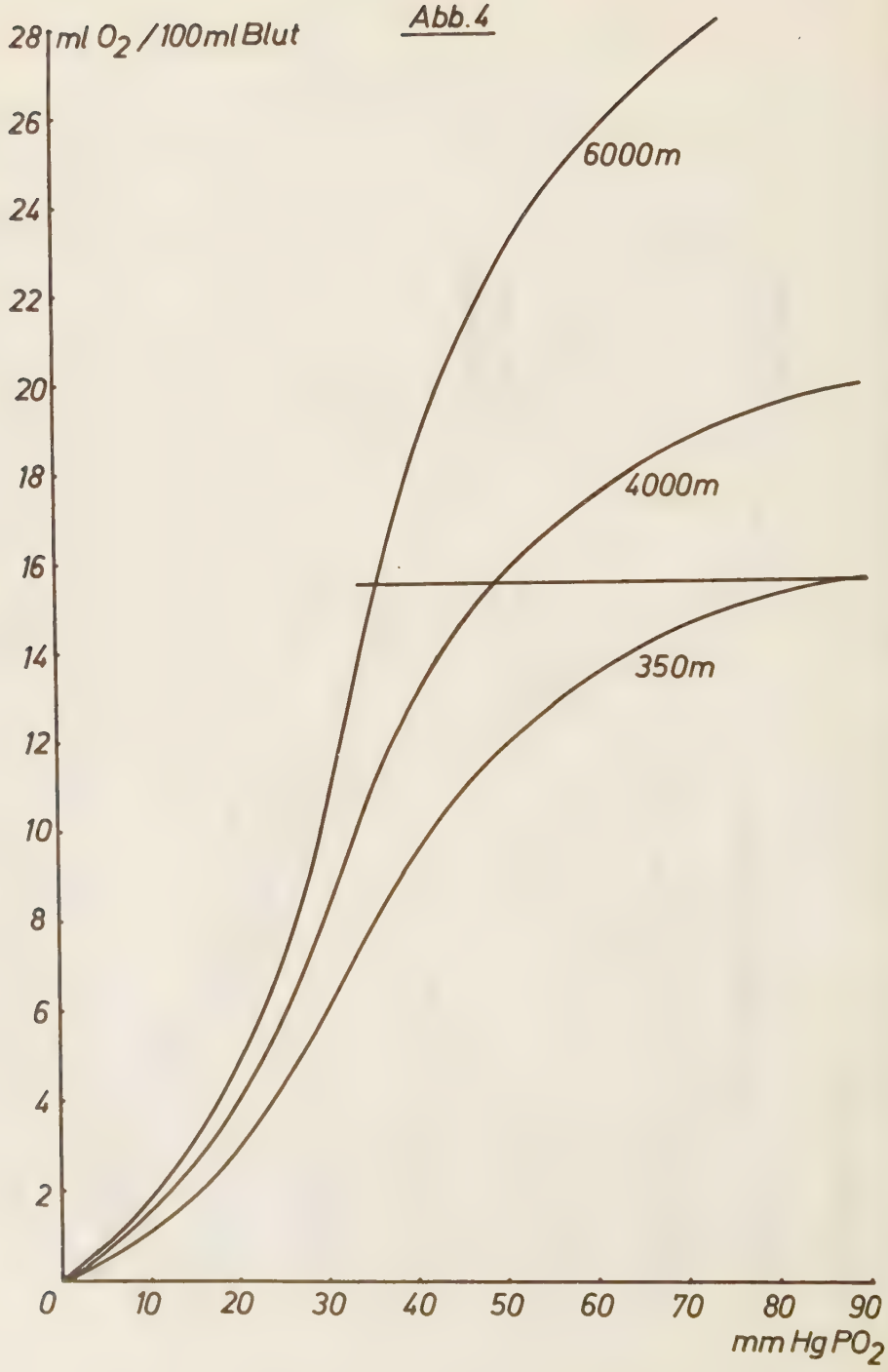


Abb. 3
ml O_2 / 100ml Blut
30
28
26
24
22
20
18
16
mMol HCO_3 / l Plasma
22
20
18
PO_2 Torr
36
35
34
O_2-Kapazität
Standard Bikarbonat
T_{50}
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Tage
4000m
x
6000m

Abb. 4


ml O_2 / 100ml Blut
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
mm Hg PO_2
6000m
4000m
350m

abelle 1

P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
18.1	47.0	1.91	46.1	13.7	51.2	7.300	16.2
30.5	35.0	5.45	40.5	39.4	45.6	7.381	29.9
44.3	32.4	9.02	38.0	65.4	43.1	7.391	43.9
66.3	44.3	11.07	40.7	79.9	46.1	7.288	58.5
241.6	44.5	14.31	42.9	100.0	48.8	7.302	
14.6	46.6	1.38	44.9	8.2	50.3	7.294	13.0
30.5	34.9	7.47	42.8	45.6	49.5	7.420	31.2
44.2	32.3	10.53	35.9	64.2	42.0	7.378	43.2
66.2	44.2	13.28	40.3	80.5	46.7	7.284	58.2
241.3	44.5	16.92	41.2	100.0	48.1	7.297	
14.6	46.4	1.76	56.8	10.9	64.1	7.409	14.7
30.4	34.8	7.96	51.2	49.8	59.1	7.502	30.8
44.1	32.2	12.01	48.0	75.2	55.9	7.513	44.5
66.0	44.2	14.08	50.8	87.9	58.8	7.393	65.6
240.8	44.3	16.51	53.3	100.0	62.0	7.416	
14.7	46.7	1.87	56.1	11.5	62.9	7.397	14.7
30.6	35.0	8.06	48.2	50.2	55.7	7.472	33.1
44.3	32.4	12.33	45.5	76.8	53.2	7.486	51.1
66.3	44.3	14.98	47.1	93.0	54.7	7.356	63.2
204.9	39.5	16.50	48.8	100.0	56.9	7.427	
14.7	46.8	1.36	37.4	8.0	42.5	7.216	12.0
30.7	42.5	4.95	34.9	29.4	40.0	7.232	25.5
44.4	32.4	9.81	30.1	58.6	35.1	7.297	39.6
66.4	44.4	12.80	33.7	76.2	39.1	7.201	73.3
205.6	39.6	17.15	33.2	100.0	39.0	7.265	
14.7	46.8	1.61	39.9	8.4	46.0	7.254	12.5
30.8	42.6	6.28	39.4	33.3	46.1	7.298	27.5
44.4	32.5	11.44	31.8	60.8	**38.0**	7.332	41.2
66.4	44.4	15.76	37.4	**83.7**	**44.5**	**7.262**	**57.0**
205.4	36.6	19.22	**36.1**	**100.0**	**43.3**	**7.293**	
14.7	46.9	1.46	39.2	7.7	45.2	7.244	12.4
30.9	42.7	5.64	36.2	10.0	42.3	7.256	26.3
44.6	32.6	11.22	34.3	60.0	40.9	7.365	42.9
66.6	44.6	14.80	34.7	79.0	41.2	7.224	54.4
106.1	39.8	19.11	35.2	100.0	42.2	7.262	
14.7	46.9	1.02	25.2	5.9	28.5	7.025	9.4
30.9	42.7	3.53	23.9	20.6	27.2	7.065	21.3
44.6	32.6	6.88	19.4	40.0	22.5	7.085	31.4
66.6	44.6	11.92	22.9	70.1	26.6	7.016	43.6
206.1	39.8	17.33	22.8	100.0	26.8	7.075	

Forts. Tab. 1

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} be pH 7,4
9.	14.7	46.7	1.07	40.4	5.9	46.3	7.256	12.5
	30.7	42.5	5.13	37.3	28.7	43.1	7.267	26.5
	44.3	32.4	10.00	31.6	56.2	37.3	7.324	40.8
	66.3	44.3	13.34	35.1	74.8	41.2	7.225	54.6
	204.9	39.5	18.19	36.9	100.0	43.9	7.302	
10.	14.7	46.7	1.50	38.4	7.6	44.7	7.240	12.3
	30.7	42.5	5.71	36.7	29.1	43.2	7.268	26.5
	44.3	32.4	10.95	33.5	56.1	40.2	7.359	42.4
	66.3	44.3	15.16	34.1	77.5	40.9	7.222	54.4
	204.9	35.5	19.92	35.1	100.0	42.5	7.294	
11.	14.7	46.7	1.19	41.4	7.1	46.8	7.258	12.5
	30.6	35.0	5.70	36.7	35.1	42.3	7.340	28.6
	44.3	32.4	9.84	34.3	60.8	39.9	7.356	42.2
	66.3	44.3	12.98	37.4	79.9	43.2	7.248	56.0
	241.9	44.5	16.70	37.8	100.0	43.5	7.256	
12.	14.7	46.8	0.98	30.7	5.9	34.7	7.120	10.8
	30.6	35.1	3.90	25.3	23.9	29.0	7.170	23.8
	66.4	44.4	11.47	27.6	70.7	31.9	7.105	47.9
	205.2	39.6	16.55	25.7	100.0	30.0	7.131	
13.	14.7	46.8	1.24	34.1	6.4	38.6	7.171	11.4
	30.6	35.1	5.55	32.1	33.6	36.9	7.274	26.9
	44.4	32.4	9.14	27.2	56.3	31.5	7.247	37.4
	66.4	44.4	12.92	27.2	80.1	31.5	7.098	47.7
	205.6	39.6	15.89	29.7	100.0	34.7	7.198	
14.	14.7	46.9	1.40	31.7	7.8	36.2	7.140	11.1
	30.7	35.2	5.52	32.0	31.3	37.2	7.283	27.1
	44.6	32.6	7.98	23.1	45.3	27.0	7.172	34.7
	66.7	44.7	14.05	34.6	79.9	40.6	7.216	54.4
	106.1	39.7	17.96	34.2	100.0	40.5	7.269	
15.	14.7	46.7	1.53	45.1	8.8	51.4	7.302	12.9
	30.5	35.0	7.20	40.9	42.1	47.6	7.400	30.5
	44.3	32.4	11.38	35.5	66.6	41.8	7.377	43.1
	241.6	44.5	17.62	39.4	100.0	46.4	7.280	
16.	14.7	46.9	1.46	41.4	7.7	47.8	7.270	12.8
	30.7	35.2	6.15	34.1	32.9	40.2	7.321	28.1
	44.6	32.6	10.66	31.8	57.2	37.8	7.329	41.2
	66.7	44.6	15.16	34.7	81.2	41.2	7.222	54.8
	206.1	39.7	19.04	35.4	100.0	42.5	7.291	

Tabelle 2

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
	14.7	46.7	1.70	43.1	8.9	49.8	7.290	13.0
	26.9	43.8	5.49	41.9	29.0	48.9	7.312	24.4
	35.9	46.7	8.32	42.1	44.3	49.3	7.286	31.6
	66.3	44.3	14.97	37.3	79.5	44.3	7.260	56.8
	105.0	39.6	19.19	37.6	100.0	45.2	7.321	
	14.7	46.7	2.04	48.0	10.7	55.6	7.341	13.8
	26.9	43.8	5.87	43.4	30.8	50.8	7.329	24.9
	35.9	46.7	11.55	39.6	60.9	46.8	7.261	30.8
	66.4	44.4	16.36	40.9	86.1	48.9	7.305	59.8
	205.3	39.6	19.40	40.8	100.0	49.1	7.360	
	14.7	46.8	1.99	45.2	9.2	53.5	7.322	13.5
	27.0	43.9	6.21	40.5	28.8	48.5	7.306	24.3
	66.5	44.5	19.12	40.1	88.8	49.2	7.306	60.0
	205.8	39.7	21.93	37.1	100.0	46.0	7.328	
	14.8	47.0	2.28	47.9	11.6	55.8	7.339	13.8
	27.1	44.0	7.18	45.6	36.7	53.7	7.352	25.7
	36.1	47.0	10.58	49.1	54.1	58.1	7.358	34.5
	66.8	44.7	17.16	43.4	87.6	52.1	7.331	61.9
	206.5	39.9	19.99	43.5	100.0	52.7	7.389	
	14.7	46.7	1.90	46.6	9.9	54.0	7.327	13.5
	26.9	43.7	5.16	45.8	27.1	53.5	7.370	26.0
	71.8	45.4	16.22	41.8	85.4	49.9	7.303	64.5
	205.1	39.6	19.36	42.3	100.0	50.8	7.375	
	205.1	39.6	19.29	41.3				
	14.7	46.6	1.56	44.4	8.2	51.3	7.303	13.2
	26.8	43.7	5.36	43.3	28.4	50.5	7.327	24.8
	35.9	46.6	8.33	42.7	44.3	50.0	7.292	31.8
	71.7	45.3	16.91	44.2	89.9	52.6	7.329	66.3
	204.8	39.5	19.18	40.3	100.0	48.4	7.354	
	14.7	46.8	2.05	49.5	9.1	59.0	7.368	14.2
	27.0	43.9	8.79	48.3	39.6	58.4	7.391	26.7
	72.0	45.5	20.54	47.3	92.4	58.5	7.375	70.1
	103.7	43.8	21.48	46.7	96.2	57.9	7.390	102.5
	205.8	39.7	22.62	44.3	100.0	55.3	7.412	
	14.7	46.7	1.51	30.9	7.0	36.4	7.144	11.1
	26.9	43.7	4.44	31.6	20.9	37.5	7.188	22.3
	35.9	46.7	6.53	29.7	30.8	35.3	7.129	26.6
	71.8	45.4	16.10	28.8	76.1	35.0	7.138	53.7
	103.3	43.6	18.97	26.6	89.4	32.6	7.123	76.1
	205.1	39.6	21.49	26.6	100.0	32.8	7.172	

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
9.	14.6	46.3	1.61	46.3	8.8	53.2	7.324	13.4
	26.7	43.4	5.21	46.0	28.8	53.4	7.356	25.4
	35.6	46.3	8.22	45.0	45.6	52.3	7.316	32.5
	71.3	45.0	16.08	44.1	89.2	52.2	7.329	65.9
	203.6	39.3	18.41	42.2	100.0	50.4	7.375	
10.	14.6	46.3	1.46	35.5	6.9	41.7	7.211	11.8
	26.7	43.4	4.63	36.2	22.2	42.8	7.254	22.7
	35.6	46.3	7.16	34.8	34.4	41.3	7.206	28.8
	71.3	45.0	16.78	33.4	80.8	40.5	7.211	57.8
	203.6	39.3	21.11	31.9	100.0	39.2	7.259	
11.	14.7	46.7	2.33	42.8	10.8	50.6	7.298	13.1
	26.9	43.7	6.92	42.2	32.2	50.6	7.327	24.8
	35.9	46.7	8.91	39.0	41.4	46.8	7.261	30.8
	66.3	44.3	18.19	38.6	84.6	47.2	7.289	58.7
	205.0	39.6	21.88	39.0	100.0	48.3	7.353	
12.	14.8	47.6	2.38	52.5	11.6	61.6	7.385	14.5
	27.1	44.0	7.81	50.2	38.3	59.8	7.401	27.1
	36.1	47.0	11.73	50.7	57.5	60.6	7.378	35.3
	66.8	44.7	18.11	46.3	88.6	56.1	7.366	64.3
	206.5	39.9	20.83	46.9	100.0	57.3	7.427	
13.	27.1	44.1	8.23	53.0	38.6	63.6	7.427	28.0
	66.9	44.8	18.79	45.1	88.0	55.1	7.356	63.7
	207.0	39.9	21.75	44.0	100.0	54.4	7.403	
14.	14.8	46.9	1.66	44.3	7.9	52.0	7.307	13.3
	72.2	45.6	18.41	42.5	88.7	51.7	7.318	65.9
	206.2	39.8	21,14	39.8	100.0	48.9	7.356	

Tabelle 3

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
1.	27.2	44.3	5.00	38.8	25.7	45.5	7.272	23.6
	46.2	45.4	11.68	39.6	60.3	47.0	7.276	40.3
	59.4	46.1	14.38	38.0	74.2	45.2	7.249	50.3
	200.7	38.7	19.73	36.2	100.0	43.9	7.317	
2.	27.6	45.0	5.72	43.3	32.8	50.0	7.309	24.9
	46.9	46.1	11.33	42.1	65.0	49.0	7.289	41.5
	60.2	46.8	14.07	42.2	80.7	49.4	7.285	53.1
	203.7	39.3	17.82	40.5	100.0	48.0	7.353	
3.	16.5	41.4	4.37	51.1	19.5	61.7	7.443	17.3
	28.2	46.0	8.84	49.5	39.6	59.9	7.382	27.6
	47.9	47.1	16.41	47.4	73.5	58.1	7.356	45.7
	72.9	46.1	20.22	48.5	90.3	60.0	7.382	71.4
	208.2	40.2	22.77	46.3	100.0	57.8	7.427	
4.	27.6	45.0	6.80	47.2	31 .1	56.6	7.366	26.6
	46.9	46.1	14.34	45.0	65.7	54.7	7.339	43.9
	60.0	46.6	16.66	40.9	76.3	49.8	7.291	53.2
	202.8	39.1	22.21	40.3	100.0	50.1	7.374	
5.	16.5	41.4	2.73	45.9	14.1	53.6	7.379	16.1
	28.2	46.0	8.67	43.4	45.1	51.0	7.307	25.4
	47.9	47.1	13.38	42.8	69.5	50.7	7.294	52.7
	61.6	47.9	15.02	44.1	77.9	52.4	7.302	55.1
	72.9	46.1	16.25	42.3	84.2	50.4	7.302	65.4
	208.2	40.2	19.67	40.9	100.0	49.4	7.355	
6.	28.1	45.8	8.85	45.7	38.0	55.8	7.352	26.6
	47.7	46.9	16.25	43.0	69.8	53.1	7.318	43.6
	61.3	47.6	19.87	45.2	85.3	56.2	7.337	57.1
	72.5	45.8	20.45	42.3	87.7	52.7	7.324	66.7
	207.1	40.0	23.70	41.5	100.0	52.4	7.384	
7.	27.5	44.9	6.90	49.4	31.8	59.2	7.387	27.2
	46.8	46.0	13.90	44.8	64.2	54.4	7.337	43.7
	60.2	46.8	17.22	46.1	79.4	56.3	7.345	56.6
	203.4	39.2	22.06	44.9	100.0	55.7	7.421	
8.	15.8	39.1	1.80	33.7	8.7	39.7	7.267	13.7
	27.0	44.1	4.38	32.6	21.2	38.5	7.197	21.6
	46.0	45.2	10.55	30.6	51.9	36.6	7.162	35.3
	59.4	45.9	14.05	31.4	69.1	37.6	7.168	45.7
	199.6	38.5	20.67	28.6	100.0	35.0	7.216	
9.	17.3	37.3	2.57	34.3	12.2	40.7	7.301	15.5
	43.0	61.1	8.64	42.4	41.2	49.9	7.166	33.2
	70.3	44.5	15.68	36.1	74.8	43.7	7.251	59.7
	101.2	42.7	18.10	32.5	86.0	39.6	7.225	83.4
	201.0	38.8	21.29	36.4	100.0	44.8	7.309	
10.	28.1	45.9	6.56	43.2	32.3	51.1	7.310	25.5
	47.8	47.0	13.26	42.2	65.5	50.5	7.294	42.5
	107.6	40.1	20.66	39.6	100.0	48.4	7.348	

Tabelle 4

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
1.	28.1	45.9	5.93	28.0	19.2	36.4	7.152	21.4
	44.2	45.7	14.51	26.9	47.1	35.6	7.144	33.3
	47.8	47.0	16.12	27.5	52.3	36.5	7.142	35.9
	72.7	45,9	23.26	26.1	75.4	35.2	7.145	54.8
	172.0	45.3	31.07	24.6	100.0	33.6	7.120	
2.	28.1	45.9	8.58	36.7	28.5	47.8	7.279	24.6
	44.2	45.7	17.46	35.8	58.1	47.4	7.278	38.6
	47.8	47.0	19.19	36.7	63.8	48.8	7.278	41.8
	172.0	45.3	30.37	33.3	100.0	45.2	7.259	
3.	16.3	41.0	2.92	41.3	9.3	54.0	7.388	16.1
	27.9	45.5	9.45	41.2	30.3	54,2	7.340	26.2
	43.9	45.3	20.02	39.6	64.3	53.2	7.334	40.9
	47.4	46.6	21.97	40.1	70.5	54.2	7.329	44.0
	47.4	46.6	21.10	39.6	67.7	53.5	7.323	43.7
	170.8	45.0	31.46	35.9	100.0	48.7	7.297	
4.	28.2	45.9	6.96	39.6	26.4	49.4	7.294	25.0
	44.3	45.7	14.94	36.2	56.9	45.9	7.262	38.0
	47.9	47.1	16.99	37.3	64.7	47.4	7.264	41.2
	172.3	45.4	26.56	36.0	100.0	46.6	7.272	
5.	27.0	44.1	7.23	37.3	25.6	47.6	7.296	24.1
	42.5	43.9	15.54	36.2	55.2	46.6	7.288	37.5
	46.0	45.2	16.23	34.2	57.5	44.3	7.252	39.0
	69.8	44.2	22.36	32.9	79.2	43.3	7.252	59.2
	199.6	38.5	28.54	32.5	100.0	43.7	7.319	
6.	16.3	41.1	1.45	36.5	4.7	47.0	7.322	14.9
	27.9	45.6	8.92	35.7	29.6	46.6	7.269	24.2
	43.9	45.4	16.37	32.2	54.4	42.6	7.230	36.4
	47.5	46.7	18.79	33.9	62.5	45.0	7.243	39.9
	171.0	45.0	30.35	31.7	100.0	43.1	7.240	

Tabelle 5

	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_2}S$	pH gas	P_{O2} bei pH 7,4
1.	24.1	48.3	3.85	25.9	12.3	33.5	7.087	17.1
	41.7	47.7	11.98	26.3	38.5	34.7	7.110	30.2
	43.6	45.0	13.93	25.2	44.9	33.5	7.122	32.1
	47.1	46.3	14.60	25.3	47.0	33.5	7.109	34.2
	60.5	47.0	18.27	22.9	58.8	30.5	7.056	41.4
	214.7	43.6	31.41	23.4	100.0	32.3	7.119	
2.	27.4	44.7	7.79	35.2	26.0	45.6	7.270	23.7
	41.2	47.2	15.16	35.9	50.7	47.5	7.264	35.4
	43.1	44.5	16.24	33.6	54.3	44.4	7.259	36.8
	46.5	45.7	17.58	34.1	58.8	45.0	7.252	39.5
	59.8	46.5	22.29	32.2	74.6	42.8	7.221	49.1
	212.1	43.1	30.29	32.2	100.0	43.9	7.268	
3.	27.3	44.5	10.32	39.8	30.9	53.8	7.348	25.7
	41.0	46.9	19.01	39.1	57.0	53.6	7.321	37.5
	42.9	44.3	19.64	37.4	58.9	51.5	7.331	39.7
	46.3	45.5	21.43	37.4	64.3	51.6	7.318	42.3
	59.5	46.3	25.48	36.3	76.4	50.4	7.300	53.3
	211.2	42.9	33.76	35.8	100.0	50.8	7.339	
4.	27.2	44.4	6.81	33.9	24.6	43.0	7.245	22.9
	40.9	46.8	13.33	34.5	48.3	44.0	7.232	33.9
	42.8	44.2	14.11	32.1	51.1	41.2	7.227	35.3
	46.2	45.4	15.58	31.1	56.5	40.0	7.201	37.1
	59.4	46.2	19.61	31.0	71.1	40.1	7.194	47.3
	210.7	42.8	27.97	30.4	100.0	40.2	7.231	
5.	24.2	48.5	5.35	41.7	24.1	49.9	7.273	21.0
	41.8	47.9	11.74	42.6	53.0	51.6	7.294	37.2
	43.7	45.2	12.43	40.0	56.1	48.7	7.295	38.9
	47.3	46.5	13.35	39.3	60.3	47.8	7.273	41.1
	215.5	43.7	22.56	38.4	100.0	47.7	7.300	
6.	41.3	47.3	13.14	27.0	44.2	35.2	7.122	30.4
	43.2	44.6	14.05	25.3	47.3	33.1	7.120	31.7
	46.7	45.9	14.88	24.6	50.1	32.4	7.097	33.4
	60.0	46.6	20.31	25.0	68.4	33.1	7.097	42.9
	212.8	43.2	30.07	22.9	100.0	31.0	7.120	

Tabelle 6

Kaninchen Nr,	O_2-Kapazität ml $O_{2/100}$ ml Blut	Hb g%	Hkt %	MCHC %	T_{50} Torr	Standar bicarbo m Mol/L P
1	13,59	10,14	28,0	36.2	36,2	20,2
2	16,20	12,09	33,0	36.6	35.4	19,9
3	15,79	11,78	37,0	31.8	32.6	26,1
4	18,89	11.86	34,3	34.6	34.0	25,4
5	16,53	12.34	37,5	32.9	35.8	16,7
6	18,60	13,88	41,4	33.5	35.0	18,7
$\bar{X}$(1- 6)	16,10	12,02	35,2	34,3	34,8	21,2
sx_i	± 1,61	± 1,20	± 3,7	± 1,9	± 1,5	3,9
$s\bar{x}$	± 0,66	± 0,49	± 1,5	± 0,8	± 0,6	1,6
7	18,49	13,80	39,0	35,4	36,5	18,8
8	16,71	12,47	37,4	33,3	35,3	11,3
9	17.57	13,11	38,9	33,7	37.6	18,9
10	19.30	14,40	42,0	34,3	37,6	18,3
$\bar{X}$(1-10)	16,87	±12,59	36,9	34,2	35,6	19,4
sx_i	± 1,67	± 1,26	± 4,2	± 1,5	± 1,5	4,2
$s\bar{x}$	± 0,52	± 0,40	± 1,3	± 0,5	± 0,5	1,4
11	15.98	11,93	34,5	34,6	36,2	17,6
12	15.94	11,90	33,5	35,5	36,8	12,7
13	15.61	11,65	35,3	33,0	34,0	14,9
14	17.34	13,11	38,5	34,1	36,1	17,4
$\bar{X}$(1-14)	16.68	12,46	36,5	34,3	35,7	18,3
sx_i	± 1,48	± 1,12	± 3,7	± 1,4	± 1,4	3,9
$s\bar{x}$	± 0,39	± 0,30	± 1,0	± 0,4	± 0,4	1,0
15	16,90	12,61	36,0	35,0	34,1	19,2
16	18,42	13,92	40,0	34,8	36,1	18,3
$\bar{X}$(1-16)	16,80	12,56	36,6	34,3	35,6	18,4
sx_i	± 1,44	± 1,10	± 3,5	± 1,3	± 1,4	3,7
$s\bar{x}$	± 0,36	± 0,28	± 0,9	± 0,3	± 0,3	0,9

Tabelle 7

Kaninchen Nr.	O_2-Kapazität ml O_2/100 ml Blut	Hb_g%	Hkt %	MCHC %	T_{50} Torr	Standard-bicarbona m Mol / L Plas
1	18,57	13,86	42,5	32,6	35,1	19,5
2	18,78	14,01	42,5	33,0	33,7	21,3
3	21,31	15,90	49,7	32,0	32,8	20,2
4	19,37	14,46	45,0	32,1	32,8	22,9
5	18,74	13,98	42,8	32,7	36,3	22,1
6	18,57	13,86	42,0	33,0	34,4	21,0
$\bar{X}$(1- 6)	19,22	14,35	44,1	32,6	34,2	21,2
sx_i	± 1,06	± 0,99	± 3,2	± 0,5	± 1,4	1,3
$s\bar{x}$	± 0,43	± 0,40	± 1,3	± 0,2	± 0,6	0,5
7	22,00	16,42	51,5	31,9	32,4	24,0
8	20,87	15,57	50,4	30,9	36,5	13,9
9	17,80	13,28	44,3	30,0	34,9	21,9
10	20,50	15,30	49,0	31,2	36,7	16,9
$\bar{X}$(1-10)	19,65	14,66	46,0	31,9	34,6	19,6
sx_i	± 1,41	± 1,05	± 3,8	± 1,0	± 1,6	2,7
$s\bar{x}$	± 0,45	± 0,33	± 1,2	± 0,3	± 0,5	0,8
11	21,26	15,87	50,0	31,7	33,9	20,9
12	20,21	15,08	45,3	33.3	32,7	24,9
13	21,13	15,77	48,3	34,8	33,6	23,5
14	20,52	15,31	50,5	30,3	34,8	21,1
$\bar{X}$(1-14)	19,97	14,90	46,7	32,1	34,3	21,0
sx_i	± 1,31	± 0,98	± 3,5	± 1,3	± 1,5	2,9
$s\bar{x}$	± 0,35	± 0,36	± 0,9	± 0,3	± 0,4	1,5

Tabelle 8

Kaninchen Nr.	O_2-Kapazität ml O_2/100 ml Blut	Hb g %	Hkt %	MCHC %	T_{50} Torr	Standard-bicarbonat m Mol / L Plasm
1	19,13	14,28	43,5	32,8	35,5	19,1
2	17,21	12,84	40,2	31,9	33,5	20,8
3	22,15	16,53	50,7	32,6	33,8	25,1
4	21,60	16,12	47,3	34,1	36,0	21,9
5	19,05	14,22	45,7	31,1	32,3	21,3
6	23,08	17,22	53,0	32,5	32,8	22,7
$\bar{X}$	20,37	15,20	46,7	32,5	34,0	21,8
sx_i	± 2,25	± 1,68	± 4,7	± 1,0	± 1,5	2,0
$s\bar{x}$	± 0,92	± 0,69	± 0,2	± 0,4	± 0,6	0,8
7	21,45	16 ,00	51,8	30,9	36,3	24,4
8	20,07	14,98	50,5	29,7	35,1	15,1
9	20,69	15,44	49,3	31,3	-,-	19,4
10	20,04	14,96	47,7	31,4	33,1	20,8
$\bar{X}$	20,45	15,26	48,0	31,8	34,25	21,6
sx_i	± 1,72	± 1,28	± 4,0	± 1,1	± 1,5	2,9
$s\bar{x}$	± 0,55	± 0,40	± 1,3	± 0,3	± 0,6	1,0

Tabelle 9

Kaninchen Nr.	O_2-Kapazität ml O_2/100 ml Blut	Hbg %	Hkt %	MCHC %	T_{50} Torr	Standard-bicarbonat m Mol / L Plasma
1	30,55	22,80	74,0	30,8	36,0	13,0
2	29,85	22,28	69,5	32,1	34,5	18,1
3	30,95	23,10	77,0	30,0	34,8	19,9
4	26,04	19,43	74,0	26,3	35,3	18,6
5	27,94	20,85	68,5	30,4	35,6	19,1
6	29,84	22,27	76,0	29,3	33,9	17,2
$\bar{x}$(1-6)	29,20	21,79	71,4	29,8	35,0	17,7
sx_i	± 1,86	± 1,39	± 5,1	± 1,9	± 0,8	2,5
$s\bar{x}$	± 0,76	± 0,57	± 2,1	± 0,8	± 0,3	1,0

Tabelle 10

1	30,77	22,96			35,6	13,0
2	29,65	22,13			35,1	17,9
3	33,13	24,72			35,2	21,2
4	27,34	20,40			35,0	16,5
5	-,--	-,--			35,2	-,-
6	29,43	21,96			35,2	21,3
$\bar{x}$(1-6)	30,06	22,43			35,2	18,0
sx_i	± 2,12	± 1,13			± 0,2	3,4
$s\bar{x}$	± 0,95	± 0,61			± 0,1	1,5

ASTE-SALAZAR, H. and H. HURTADO (1944): The Affinity of Hemoglobin for Oxygen at Sea Level and at High Altitude. Am. J. Physiol. 142:733-743.

BARCROFT, J., C.A. BINGER, A.V. BOCK, J.H. DOGGART, H.S. FORBES, G. HARROP, J.C. MEAKINS and A.C. REDFIELD (1922): Observations upon the Effect of High Altitude on the Physiological Processes of the Human Body, carried out in the Peruvian Andes, chiefly at Cerro delPasco. Phil. Trans. Royal Soc. Ser. B 211:351-48o.

BARTELS, H. und H. HARMS (1959): Sauerstoffdissoziationskurven des Blutes von Säugetieren. Pflügers Arch. ges. Physiol. 268: 334-365.

BARTELS, H. (1959): In: H. Bartels, E. Bücherl, C.W. Hertz, G. Rodewald u. M. Schwab. Lungenfunktionsprüfungen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.

BARTELS, H. und R. WRIBITZKY (196o): Bestimmung des CO_2-Absorptionskoeffizienten zwischen 15 und 38° C in Wasser und Plasma. Pflügers Arch. ges. Physiol. 271:162-168.

CHALFIN, D. (1956): Differences between young and mature Rabbit erythrocytes. J. cell. comp. Physiol. 47:215-239.

CHIODI, H. (195o): Blood Picture at High Altitude. J. appl. Physiol. 2:431-436.

CRISCUOLO, D., R.T. CLARK and R.B. MEFFERD (1955): Effects of Low and High Iron Supplementation on Hypoxic Rats. Am. J. Physiol. 18o:215-218.

DILL, D.B., A. GRAYBIEL, A. HURTADO and A.C. TAQUINI (194o): Der Gasaustausch in der Lunge im Alter. Z. Altersforschg. 2:2o-33.

HALL, F.G., D.B. DILL and E.S. GUZMAN BARRON (1936): Comparative Physiology in High Altitude. J. Cell. Comp. Physiol. 8:3o1-313.

HENDERSON, L.J. (1932): Blut. S. 27o. Dresden: Steinkopff.

HILPERT, P., R.G. FLEISCHMANN, D. KEMPE and H. BARTELS (1963): The Bohr effect related to blood and erythrocyte pH. Am. J. Physiol. 2o5:337-34o.

HURTADO, A., C. MERINO and E. DELGADO (1945): Influence of Anoxemia on the Hemopoietic Activity. Arch. Internal. Med. 75:284-323.

HURTADO, A., T. VELASQUEZ, C. REYNAFARJE and H. ASTE-SALAZAR (1956): Blood gas transport and acid-base balance at sea level and at high altitudes. School of Aviation Med. U.S.A.F. Randolph Field, Texas. Report 56-1o4.

HURTADO, A. (1964): In: W.H. Weihe"The Physiological Effects of High Altitude". Pergamon Press Oxford, London, New York, Paris.

KEYS, A., F.G. HALL and E.S. GUZMAN BARRON (1936): The Position of the Oxygen Dissociation Curve of Human Blood at High Altitude. Am. J. Physiol. 115:292-3o6.

KLEIHAUER, E., und N. STEENBLOCK (1967): Hämoglobingehalt und Hämoglobinkonzentration in Erythrozyten nach Schichtzentrifugation. Blut 14:193-198.

LAUE, D. (1951): Ein neues Tonometer zur raschen Äquilibrierung von Blut mit verschiedenen Gasdrucken. Pflügers Arch. ges. Physiol. 254:142-143.

LUFT, U.C. (1941): Die Höhenanpassung. Erg. d. Phys. 44:256-314

PETERS, J.P. and D.D. van SLYKE (1932): Quantitative clinical Chemistry, Methods. Baltimore: Williams and Wilkins.

REINHARD, W. (1966): Inauguraldissertation. Tübingen.

VAN SLYKE, D.D., J. SENDROY and S.H. LIU (1932): Manometric analysis of gas mixtures III. Manometric determination of carbon dioxide tension and pH of blood. J. Biol. Chem. 95:547-568.

VIAULT, M.F. (1890): Sur l'augmententation considérable des globules rouges dans le sang chez le habitants des hauts plateaux de l'Amérique du Sud. Cpts. rend. hebd. séances de l'Acad. sci. (Paris) 3:917-918.

WANG, S.I., H. WIRZ und F. VERZÁR (1951): Die O_2-Sättigung des arteriellen Blutes bei Menschen und Kaninchen auf 1800 ü.M. und ihr Zusammenhang mit der Erythrozytenzunahme. Schweiz. med. Wochenschrift 4:82-85.

Lebenslauf

Am 18. März 1940 wurde ich, Siegfried Kunz, als ältester Sohn des Rektors Siegfried Kunz und seiner Ehefrau Emma-Maria, geb. König, in Eßlingen geboren.

In Ochsenhausen besuchte ich die Volksschule und die ersten vier Klassen des Progymnasiums, anschließend in Biberach ein Jahr das Wieland-Gymnasium. 1955 trat ich in das Kepler- Gymnasium Tübingen ein, das ich bis zur Reifeprüfung im März 1959 besuchte.

Ab dem Sommersemester 1959 studierte ich dann an der Universität Tübingen Medizin. Hier legte ich im Oktober 1960 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im April 1962, nach einem Studiensemester in München, die ärztliche Vorprüfung ab.

Seit Beginn des klinischen Studiums arbeitete ich im Physiologischen Institut an den Untersuchungen für meine Dissertation.
Im Januar 1966 bestand ich an der Universität Tübingen das Medizinische Staatsexamen.
Während der Medizinalassistentenzeit in Rottenburg, Herrenberg und Tübingen wurde dann die vorliegende Arbeit vollendet.

Druckbüro Frau Elly HUTH, 74 Tübingen